

Rüdiger Schacht, Geologisch-Paläontologisches Institut

ZUR DEGLAZIATIONSGESCHICHTE NORDWESTSPITZBERGENS: AKUSTISCHE u. SEDIMENTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN VON FJORDSEDIMENTEN

Kurzfassung:

In drei Fjorden Nordwestspitzbergens konnte während einer Spitzbergenexpedition 1992 akustisches (Sonographie und Flachseismik) und sedimentologisches Datenmaterial gewonnen werden. Die Auswertung dieses Materials sowie der internationale Erfahrungs- und Datenaustausch ergaben viel neue Gesichtspunkte und Arbeitsansätze in Hinblick auf bisher nur wenig erforschte sedimentdynamische Prozesse (An- und Umlagerung, Erosion) in Fjorden der Hocharktis. Über die genetische Kopplung dieser Prozesse an Gletscherfluktuationen, Extremereignisse, isostatische Hebungen des Gebietes und deren Interaktionen mit der Klimageschichte Nordwestspitzbergens ist bisher nur wenig bekannt.

Einleitung:

Svalbard (intern. Name der Inselgruppe bestehend aus Spitzbergen, Nordaustlandet und Edgeøya) liegt in der europäischen Hocharktis zwischen etwa 75-84° Nord und 10-35° Ost. Von der Gesamtfläche von 62700 km² sind ca. 60% permanent vergletschert. Der Permafrost erreicht durchschnittliche Tiefen von ca. 300 m.

Svalbards Küsten sind wie die Gesamtskandinaviens durch das Auftreten von Fjorden geprägt. Fjorde, selbst Produkte glazialer Prozesse, stellen sowohl Übergangsbereich als auch Puffer zwischen einem mehr oder minder stark vergletscherten Hinterland und dem offenen Ozean dar. Sie weisen eine große Spannbreite geologisch-geographischer und physikalisch-dynamischer Prozesse auf und können in der Mannigfaltigkeit der auftretenden kleinräumigen Änderungen als natürliche geologisch-ozeanographische Laboratorien bezeichnet werden.

Die Küstenlinie Svalbards wird zu mehr als 20% von im inneren der Fjorde liegenden sog. "Tidewater galciers" gebildet. "Tidewater galciers" sind direkt in den Fjord einmündende und kalbende, im Gezeitenbereich liegende Gletscher. Diese Gletscher stellen eine bedeutenden "Schnittstelle" zwischen dem terrestrischen und dem marinen Milieu dar. Ihre Bedeutung liegt neben der Bildung von Eisbergen insbesondere in der Eigenschaft der schnellen und weiträumigen Vorstöße (sog. "Surge" eines Gletschers). Ein solcher Vorstoß hat eine Vielzahl von geologisch-glaziologischen Folgen. Zu nennen wären etwa eine tiefgreifende Erosion des vor dem Gletscher liegenden Sediments und die Überprägung des präexistenten Reliefs. Die geologisch-glaziologische Bedeutung von Eisbergen liegt im wesentlichen im Transport von an- und eingefrorenem Sediment, welches als IRD ("Ice rafted detritus") z.T. fernab des Ursprungsorts resedimentiert wird sowie im Aufarbeiten von Sediment auf dem Fjordboden. Bei diesem sog. "Iceberg bulldozing" wird zum einen feinkörniges Sediment resuspendiert und zum anderen gröberes Sediment vor dem Eisberg hergeschoben.

Über die Mechanismen eines Gletscher-Surges und über das Sedimentationsgeschehen in hocharktischen Fjorden ist bisher nur wenig bekannt. Erste detaillierte Untersuchungen existieren aus einigen Bereichen der kanadischen und amerikanischen Arktis und aus Westspitzbergen.

Die SPE- Expeditionen:

Die Spitzbergenexpeditionen '90, '91 und '92 (SPE '90 bis '92) des "Deutschen Arbeitskreises für Polargeographie" sind ein interdisziplinäres Gemeinschaftsunternehmen verschiedener Universitäten. Ziel der Untersuchungen ist die Erforschung der "Stofftransporte Land - Meer in polaren Ökosystemen" und die Erfassung der Zusammenhänge zwischen den terrestrischen, litoralen und marinen Systemen. Im Mittelpunkt des Programms stehen die funktionalen Zusammenhänge zwischen Transportmechanismen und ökologischen Faktoren, die es in ihrer zeitlichen und räumlichen Anordnung zu erfassen gilt.

Befassten sich die Spitzbergenexpeditionen '90 bis '91 ausschließlich mit der Aufnahme terrigener Verhältnisse und Prozesse, so stand bei der Schiffsexpedition des Jahres '92 erstmalig das Sedimentationsgeschehen der drei Fjorde des Arbeitsgebietes (vgl. Abb. 1) im Mittelpunkt. An der Schiffsexpedition waren u.a. auch das Geologisch-

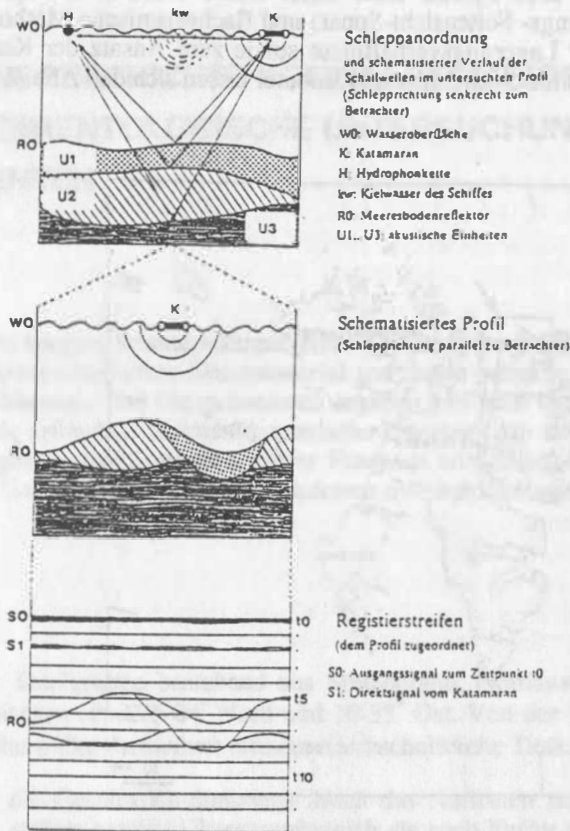


Abb. 3: Arbeitsprinzip des Boomers (mod. nach ALTENKIRCH 1979).

Eine internationale Verknüpfung der SPE-Projekte besteht über das ESF (European Science Foundation) "PONAM" (Polar North Atlantic Margins) Programm sowie dessen Unterprogramm "ASDEX" (Arctic Sediment Dynamics Experiment).

Das Arbeitsgebiet:

Das Arbeitsgebiet der Expeditionen befindet sich in Nordwestspitzbergen und umfaßt die Region des Wood-, Liefde- und Bockfjords (vgl. Abb. 1). Es ist durch eine quasi parallele Anordnung von Einzugsgebieten mit und ohne Gletscher, die direkt in die Fjorde entwässern, gekennzeichnet. Viele der Formgebungs- und Transportmechanismen terrestrischer und litoral flachmariner Systeme der Polarbereiche sind hier ausgebildet.

Die geologisch dominante Struktur des Arbeitsgebietes wird von einem großräumigen, bereits im Devon angelegten und im Tertiär reaktivierten Grabenbruch sowie dessen Rand- und Querverwerfungen gebildet. Eine Besonderheit des Gebietes ist der quartäre Vulkanismus im Bereich des Bockfjords. Der "Sverrefjellet"-Vulkan liegt auf bzw. an einer Schnittstelle zweier Störungssysteme. Die dort geförderten basaltischen Laven zeichnen sich durch einen ungewöhnlichen hohen Olivinegehalt gegenüber anderen Spitzbergenvulkaniten aus. Die im Arbeitsgebiet anstehenden Gesteine umfassen stratigraphisch das "Prädowntown"-inclusive Präkambrium - bis zum Quartär. Für das Gebiet dominierend sind die intensiv gefalteten und gestörten Sedimentgesteinsserien des jüngsten und mittleren Devons.

Über die durch die klimatischen Änderungen und die Vereisungs- und Enteisungsgeschichte in der jüngeren geologischen Geschichte ist bisher nur wenig bekannt.

Während der 1990 Expedition wurden von G. FURRER ET AL. (1991) Bodenprofile an verschiedenen Lokalitäten des Liefdefjords untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, anhand fossiler Bodenbildungshorizonte eine möglichst detaillierte Deglazationsgeschichte für den Liefdefjord zu erarbeiten. Die Bodenproben wurden pollenanalytisch untersucht und ihnen mit Hilfe von ^{14}C -Datierungen absolute Alter zugeordnet. Durch diese Arbeiten konnten FURRER ET AL. (1991) insgesamt sieben Gletschervorstöße für das Holozän nachweisen, die sie vier Gletscherhochstandsphasen zuordneten. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt.

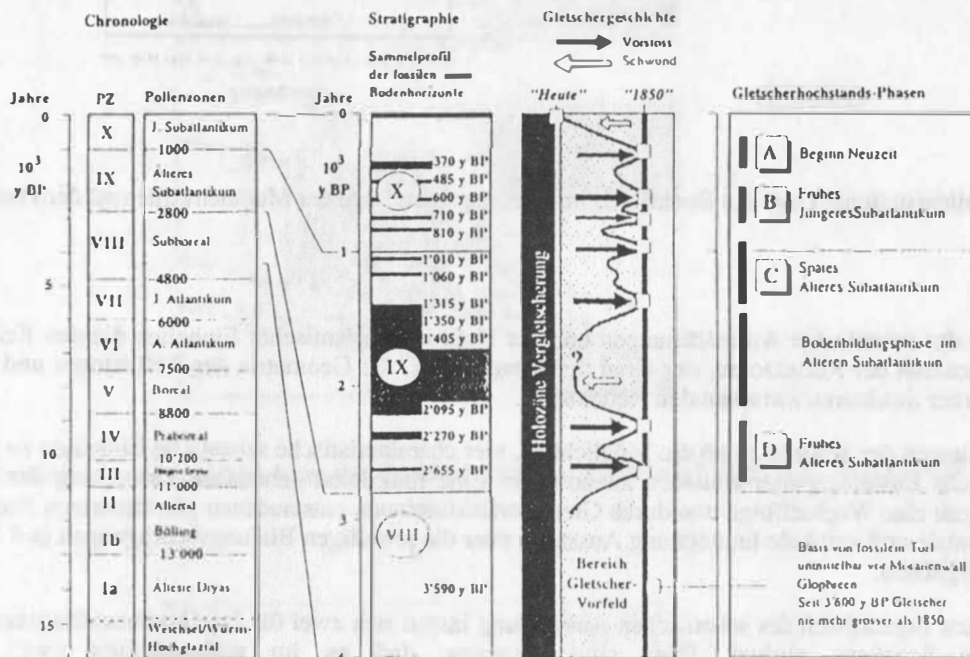


Abb. 4: Gletschergeschichte des Liefdefjords (mod. nach FURRER et al. 1991).

Erste Ergebnisse

Eine Digitalisierung der Seekarte des Gebietes ermöglichte zusammen mit den Positionsdaten und den entsprechenden Tiefendaten eine EDV- gestützte Darstellung und Bearbeitung der akustischen Profile.

Als Grundlage für eine Seismostratigraphie erfolgte nach einer Definition und Markierung der für einzelne Fjordgebiete signifikanten seismischen Einheiten eine digitale Erfassung und Zusammenfügung dieser Einheiten mit den oben genannten Tiefen-Positionsdaten.

a. Seismostratigraphie des Bockfjord - Areal.

Der Bockfjord ist ein Teilgebiet des Wood- und Liefdefjord - Areal (siehe Abb. 5), lokalisiert zwischen $79^{\circ} 25,30'$ - $79^{\circ} 32'$ Nord und $13^{\circ} 10'$ - $13^{\circ} 35'$ Ost. Er ist ein kleines Lateralbecken des Woodfjords, charakterisiert durch zwei korrespondierende Einzelbecken mit Wassertiefen zwischen ca. 2 m im Süden und ca. 120 m im Nordosten. An seinem Ufer befinden sich zwei Gletscher, die den Fjord heute nicht erreichen. Es gibt derzeit keine Informationen über die letzte Periode, in der beide Gletscher den Fjord erreichten.

Evaluation areas SPE'92:
Detail: Bockfjord region.

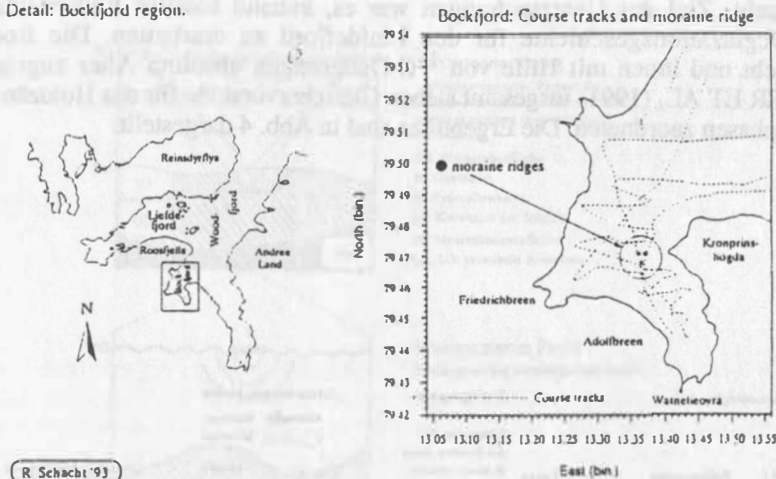


Abb. 5: Detaildarstellung: Lage des Bockfjords im Arbeitsgebiet, Lage der Moränenwälle und der Profile.

Zur Analyse der seismischer Aufzeichnungen und zur Definition seismischer Einheiten dienten Kriterien wie der Grad der Intensität der Reflektoren, der Grad der Transparenz, die Geometrie der Reflektoren und das Auftreten weiterer interner Strukturen zwischen den Reflektoren.

Die Auswertungen der Seismik ergab die Möglichkeit, vier charakteristische seismische Einheiten zu definieren und ihnen mögliche Entstehungsmechanismen zuzuordnen. Eine funktional genetische Zuordnung der verschiedenen Einheiten ergab eine Wechselfolge von durch Gletscherfluktuationen entstandenen glazimarinem Sedimentkörpern, deren horizontale und vertikale Erstreckung Aussagen über die jeweiligen Bildungsbedingungen und Distanzen zum Eisrand ermöglichen.

Aus den ersten Ergebnissen der seismischen Auswertung lassen sich zwei für das Gesamtsedimentationsgeschehen wesentliche Schlüsse ziehen. Dies sind: Erstens, daß es im wesentlichen zwei signifikante Sedimenttransportmechanismen, nämlich a.) der z.T. sehr weite Transport mit/in Suspensionswolken und b.) den Transport mittels "Massflows"; und zweitens, daß allem Anschein nach so gut wie kein Sediment den Fjord verläßt.

b. Auswertung der Side-Scan Sonaraufnahmen

Das Inventar der sichtbaren Strukturen umfaßt Eisbergpflugmarken (IPMs), Rutschungen (slumps), subaquatisch austreichendes Basement (Metamorphite und Sedimentgesteinsserien), und Moränen. Die Entstehung und Zuordnung der hier beschriebenen Strukturen und der jeweilige Bezug zu glazigenen Prozessen ist in Abb. 6 dargestellt.

Eisbergpflugmarken (IPM= "Iceberg plough mark") stellen die spektakulärsten Strukturen in den Side-Scan Sonaraufnahmen dar. Sie entstehen beim Kontakt des Eisbergkiels mit der Sedimentoberfläche. Unter den Annahmen, daß Eisberge zum weitaus überwiegenden Teil von Strömungen transportiert werden, daß der Einfluß von Windrichtungen und -stärken relativ zum Strömungseinfluß vernachlässigbar klein ist, und daß ein fjordauswärts gerichteter oberflächennaher Ausstrom von niedrig salinen Schmelzwässern einen bodennahen Einstrom von höher salinarem Meerwasser überschichtet, können aus den Richtungen der Eisbergpflugmarken auf Richtungen der diese bewegenden Strömungen geschlossen werden.

Um die natürliche Variabilität der Strömungsverhältnisse zu erfassen, wurden die Richtungen der Pflugmarken erfasst und graphisch-statistisch bearbeitet. Hier bot sich die Darstellung in Form von Richtungsrosen (der abgebildete Radius einer Richtung entspricht seiner relativen Häufigkeit in Prozent) an. Für die Rekonstruktion der Strömungsrichtungen wurden die Maxima der lokalen IPM-Richtungen benutzt. Die Richtungsverteilung der Eisbergpflugmarken (vgl. Abb. 7) zeigt neben einem nahezu überall auftretenden Maximum in küstenparalleler Richtung (Ausnahme: Bockfjord) meist mehrere, unterschiedlich stark abweichende andere Richtungen.

A.: Situation während des "Surge"-maximums
B.: Heutige Situation

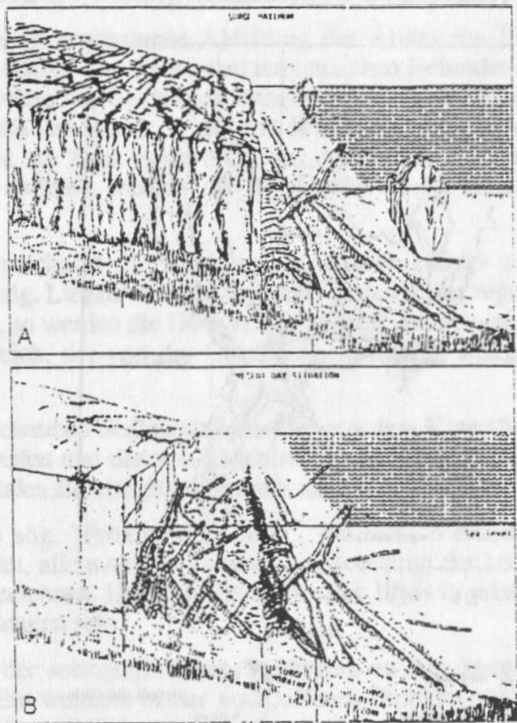


Abb. 6: Schematisches Modell zur Entstehung der Fjordbodenmorphologie (mod. nach SOLHEIM 1991).

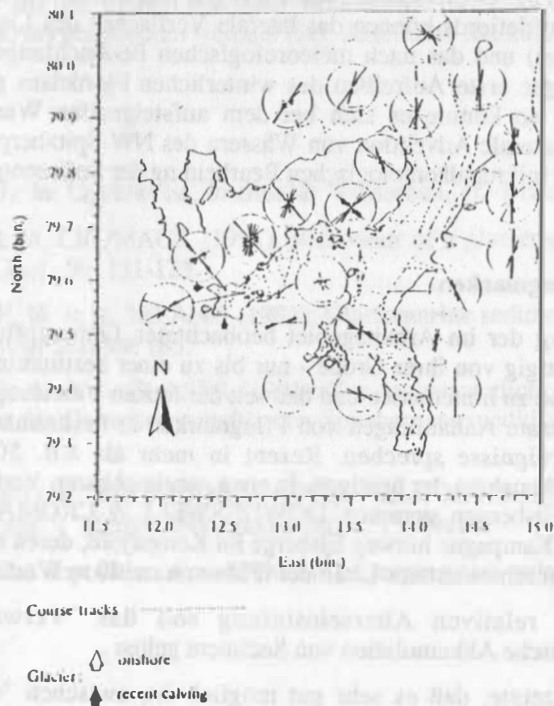


Abb. 7: Richtungsrosen von Eisbergpflugmarken im Arbeitsgebiet.

Die aus der IPM-Auswertungen abgeleiteten Strömungsrichtungen sind in Abb. 8 dargestellt. Das Auftreten verschiedener Richtungen impliziert ein komplizierteres Strömungsrichtungsmuster als zunächst angenommen. Es muß zumindest lokal und temporär eine Änderung der Oberflächenströmungen erfolgen.

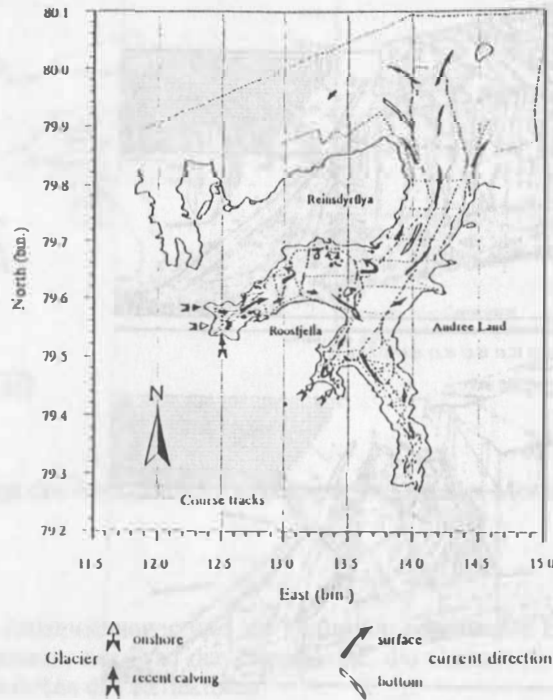


Abb. 8: Abgeleitete Strömungsrichtungen.

Mögliche Ursachen für ein "Abknicken" der Oberflächenströmungen wären etwa z.B. Upwelling von "Tiefenwasser" und/oder ein windinduziertes Umbiegen der Oberflächenströmungen. Als Indizien für ein morphologisch induziertes Upwelling im Bereich des äußeren Liefdefjords können das laterale Verflachen des Liefdefjords im Bereich der dortigen Inseln (Andøya und Makeøya) und das nach meteorologischen Beobachtungen (frdl. mündl. Mitt. D. Scherer) in den Jahren 1990-92 erfolgte erste Aufreißen des winterlichen Fjordeises gelten. Sollte ein solches Upwelling der Realität entsprechen, so könnte es sich bei dem aufsteigenden Wasser möglicherweise um advektiertes Atlantikwasser handeln (laterale Advektion von Wässern des NW-Spitzbergenstroms?). Hinweise für diese Vermutungen sollten sich aus der mikropaläontologischen Bearbeitung der Sedimentproben ergeben.

Zeitliche Einordnung der Eisbergpflugmarken.

Eine relative zeitliche Differenzierung der im Arbeitsgebiet beobachteten Eisbergpflugmarken beruht auf den Grundannahmen, daß Eisberge - abhängig von ihrer Größe - nur bis zu einer bestimmten Tiefe in der Lage sind, Pflugmarken an der Sedimentoberfläche zu hinterlassen und daß seit der letzten Vereisung eine isostatische Hebung Spitzbergens erfolgte. So sollten separate Anhäufungen von Pflugmarken in bestimmten Tiefen auf zeitlich nah beieinander liegende "Ploughing"-Ereignisse sprechen. Rezent in mehr als z.B. 50 m Tiefe anzutreffende Eisbergpflugmarken sollten unter der Annahme der heutigen, in etwa vergleichbaren Verhältnissen, nicht mehr von rezent an den Gletschern gebildeten Eisbergen stammen. DOWDESWELL & CROMACK(1991) beobachtete in Westspitzbergen über eine dreijährige Kampagne hinweg Eisberge im Kongsfjord, deren maximale Größen bei etwa 30 m Durchmesser lagen. Er leitet ein rezentes unteres Limit der IPMs von ca. 40 m Wassertiefe ab.

Als ein anderes Kriterium der relativen Alterseinstufung soll das "Verwischen" der Schärfe der Pflugmarkenkonturen durch postgenetische Akkumulation von Sediment gelten.

Die Auswertung der Sonographien zeigte, daß es sehr gut möglich ist, zwischen "neuen" (rezenten), scharf konturierten und "alten" (fossilen), weniger scharf konturierten Pflugmarken zu unterscheiden. Um eine mögliche Tiefenabhängigkeit der Eisbergpflugmarken festzustellen, wurden die Pflugmarkentiefen gegen die Wassertiefe geplottet. Hierbei zeigte sich, daß bei den als rezent angesprochenen Pflugmarken im wesentlichen drei zusammenhängende Tiefenkomplexe ausgeschieden werden können: Der erste Komplex erstreckt sich von ca. 15 m

mit kleineren Unterbrechungen bis 70 m Tiefe, der zweite von ca. 93-102 m und der dritte von 109-116 m. Bei den als fossil angesprochenen Eisbergpflugmarken wird neben vier Einzelvorkommen in ca. 40, 67, 85 und 98 m Tiefe ein "Komplex" zwischen ca. 45 und 50 m ausgebildet.

Eine durch Tiefenkorrelation vorgenommene Ableitung des Alters von IPM-Strukturen, wie auch die gesamte unmittelbare Zuordnung/Korrelation von marinen zu terrestrischen Befunden erweist sich bei genauerer Betrachtung jedoch als problematisch. Zu viele das Sedimentationsgeschehen beeinflussende Parameter bleiben zunächst noch offen. Insbesondere der Sedimentationsrate in den mit IPM-Strukturen bedeckten Bereichen kommt eine zentrale Rolle in mehrfacher Hinsicht zu. Zum einen dient das Anhäufen von Sediment auf den IPMs einer relativen Altersdifferenzierung, zum anderen werden die Strukturen durch anhaltende Sedimentation überdeckt und ausgelöscht.

In diesem Zusammenhang erscheint die Lage der Strukturen relativ zu den Strömungssystemen und zum Gletscherrand besonders wichtig. Liegen die IPMs in einem Bereich, der regelmäßig von der "Schmelzwasserfahne" eines Gletschers erreicht wird, so werden die IPMs relativ schnell von neu angeliefertem Sediment verwischt. Liegen die Strukturen in einem Bereich, der von der Oberflächenströmung weitgehend sedimentfrei gehalten wird, so bleiben sie lange erhalten.

ELVERHØI et al. (1983) beschreiben Sedimentationsraten aus dem Kongsfjordbereich, aus denen ein dramatischer Unterschied zwischen proximalen und distalen Lagen relativ zur Gletscherfront sehr deutlich wird. So beträgt die Sedimentationsrate im proximalen Bereich 50-100 mm/a und im distalen Bereich 1-2 mm/a.

Schon jetzt scheint sich ein sog. "Proximalitätstrend", d.h. eine Veränderung der Sedimentationsprozesse in Abhängigkeit vom Liefergebiet, allein aus der lokalen Anreicherung der beobachtbaren Strukturen (relative lokale Häufigkeiten der IPMs) abzuzeichnen. Demzufolge dürften die IPMs in relativ zum Gletscher proximalen Lagen in den meisten Fällen junge Bildungen sein.

Eine über die relative Lage der sonographischen Strukturen zu den Strömungsrichtungen entwickelte zeitliche Einordnung steht noch aus. Ein weiteres bisher noch offenes Problem stellen die Zusammenhänge zwischen der postglazialen isostatischen Hebung Spitzbergens und den hydrostatischen Meeresspiegelschwankungen des Quartärs dar.

Das Auftreten von IPMs in den verschiedenen Tiefenlagen (bis ca. 120 m) und der relativ gute Erhaltungszustand dieser Strukturen (relativ scharfe Konturen) könnte unter der Voraussetzung, daß die Größe der an den Fjordgletschern gebildeten Eisberge nicht allzusehr von den heutigen Verhältnissen abweicht (max. Durchmesser von ca. 20-30 m) auf eine Meeresspiegeloszillation hindeuten. Eine sinusartige Oszillation des Meeresspiegels in den Fjorden könnte auch aus den strandwallartigen Strukturen im Bereich des nordöstlichen Woodfjords (rezent in Wassertiefen um ca. 20-30 m) geschlossen werden. Eine detaillierte Identifizierung und Zuordnung dieser Strukturen steht jedoch noch aus.

Literatur:

- ALTENKIRCH, J. (1979): in: Leichtweiss, Institut für Wasserbau, TU-Braunschweig. Mitt., 65, 226.
- DOWDESWELL, J.A. & M. CROMACK (1991): Behaviour of a glacier-derived suspended sediment plume in a small Arctic inlet. - Jour. Geol., 99: 111-123.
- ELVERHØI, A., LONNE, Ø. & R. SELAND (1983): Glaciomarine sedimentation in a modern fjord environment, Spitsbergen. Norsk Polarinst. Skrifter, 185.
- FURRER, G., STAPFER, A. & U. GLASER (1991): Zur nacheiszeitlichen Gletschergeschichte des Liefdefjords (Spitzbergen). Ergebnisse der Geowissenschaftlichen Spitzbergenexpedition 1990. - Geographica Helvetica Nr. 4: 147-155.
- NEWTON, R.S., SEIBOLD, E. & F. WERNER (1973): Facies distribution patterns on the Spanish Sahara shelf mapped with side-scan sonar. - "Meteor" Forschungserg., C 15, Berlin.
- SOLHEIM, A. (1991): The depositional environment of surging sub-polar tidewater glaciers. - Norsk Polarinst. Skrifter No. 194.